



**SEMINARIO: PROGETTAZIONE DELLE STRUTTURE DI LEGNO  
SECONDO LE NORME TECNICHE 2008 - Trento, 17 luglio 2008  
Presentazione del documento CNR-DT 206/2007**

---

*CNR-DT 206/2007*

**Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione  
ed il Controllo di Strutture di Legno**

# **VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI**

**prof. Bruno Calderoni**



Facoltà di Ingegneria - Università di Napoli Federico II



**PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO - DIPARTIMENTO LAVORI PUBBLICI, TRASPORTI E RETI**



## ***CAPITOLI PERTINENTI:***

- ***Norme di calcolo (6) ⇒ Stati limite ultimi (6.5)***
- ***Travi di forma particolare (8.1), con intagli (8.2)  
o forature (8.3)***
- ***Elementi strutturali composti (8.4)***





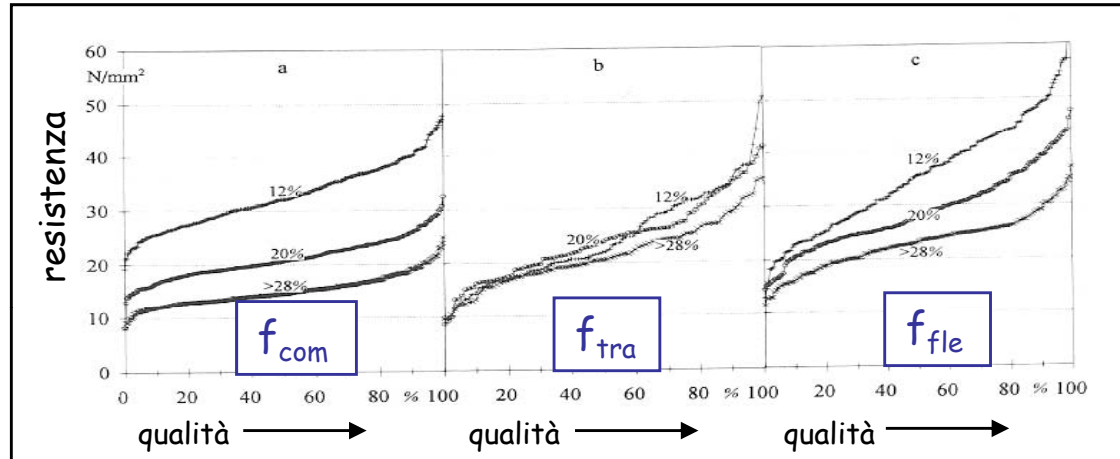
## **SPECIFICITA' DEL MATERIALE CHE INFLUENZANO I CRITERI E LE MODALITA' DI VERIFICA**

- **Dipendenza delle proprietà meccaniche dalle condizioni ambientali e dalla durata del carico**
- **Anisotropia**
- **Comportamento praticamente elastico-lineare fino a rottura (legno strutturale)**
- **Resistenze diverse a trazione, compressione e flessione**
- **Influenza delle dimensioni della sezione sulla resistenza a flessione e a trazione**





## Dipendenza delle proprietà meccaniche dalle condizioni ambientali



La variazione  
delle resistenze  
al variare  
dell'umidità

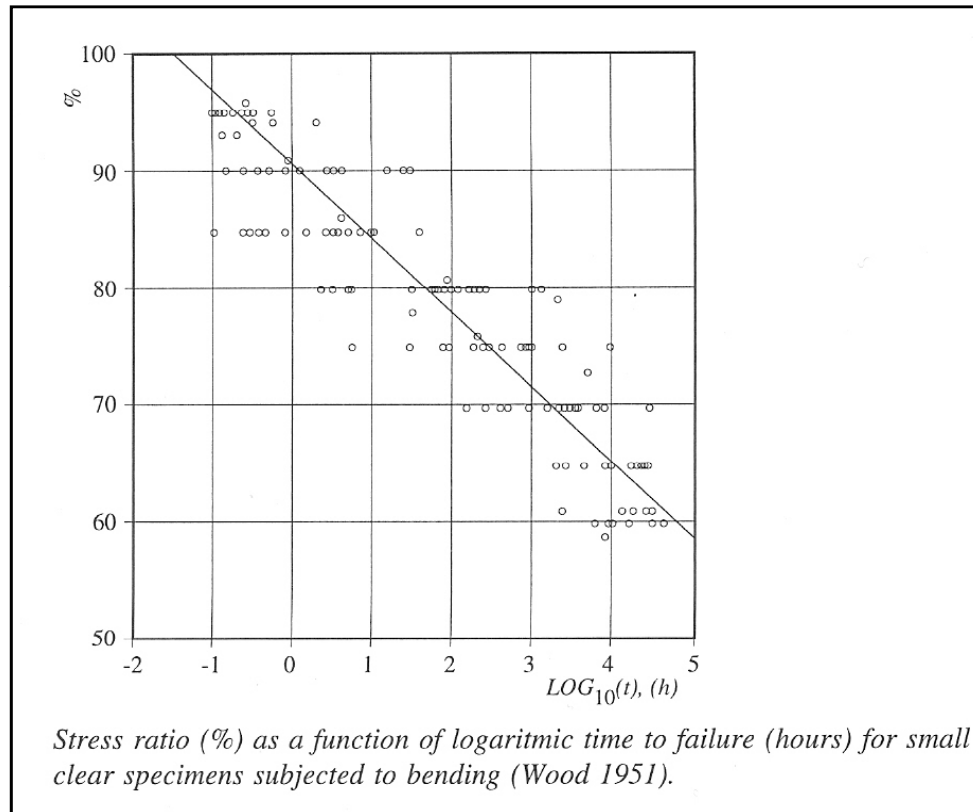
Property	Change (%)
Compression strength parallel to the grain	5
Compression strength perpendicular to the grain	5
Bending strength parallel to the grain	4
Tension strength parallel to the grain	2,5
Tension strength perpendicular to the grain	2
Shear strength parallel to the grain	3
Impact bending strength parallel to the grain	0,5
Modulus of elasticity parallel to the grain	1,5

Table 2 Approximate change (%) of clear wood properties for a one percentage change of moisture content. Basis is properties at 12% moisture content.

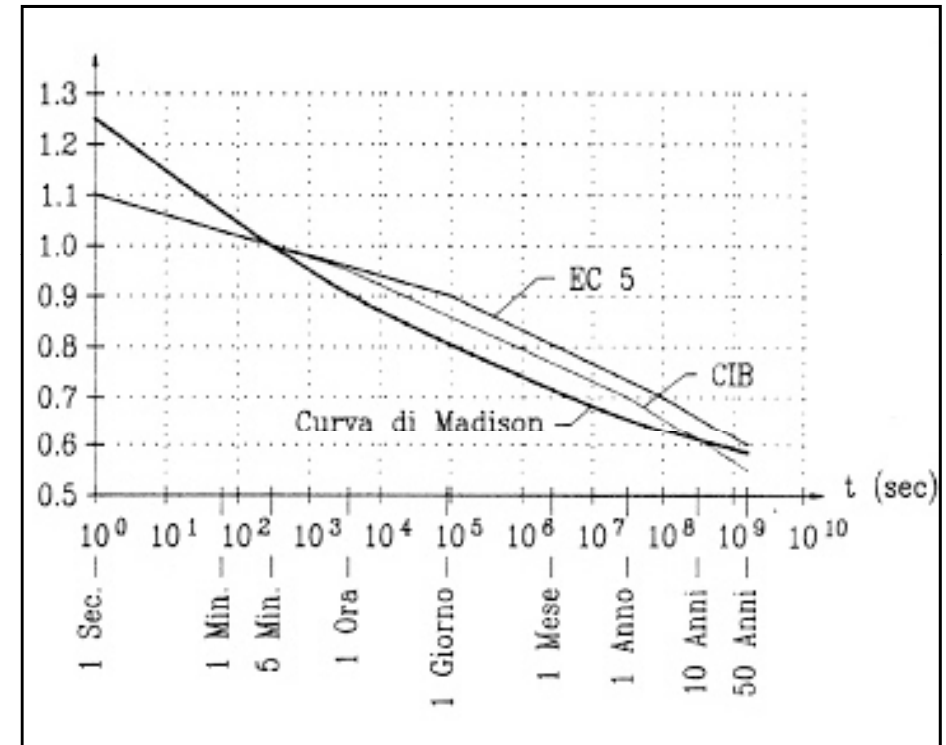




## Dipendenza delle proprietà meccaniche dalla durata del carico



Il carico di rottura al variare  
della durata del carico



La riduzione della resistenza in  
funzione della durata del carico





— *Classe di servizio 1*: questa classe di umidità è caratterizzata da un contenuto di umidità nei materiali corrispondente ad una temperatura di  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  e a una umidità relativa dell'aria circostante che supera il 65% soltanto per alcune settimane all'anno.

Nella classe di servizio 1 l'umidità media di equilibrio per la maggior parte delle conifere non supera il 12%.

— *Classe di servizio 2*: questa classe di servizio è caratterizzata da un contenuto di umidità nei materiali corrispondente ad una temperatura di  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  e a una umidità relativa dell'aria circostante che supera l'80% soltanto per alcune settimane all'anno.

Nella classe di servizio 2 l'umidità media di equilibrio per la maggior parte delle conifere non supera il 18%.

— *Classe di servizio 3*: rientrano in questa classe di servizio tutte le condizioni climatiche che danno luogo a contenuti di umidità nel legno più elevati.

**Le classi di  
servizio**

Classe di durata del carico	Durata del carico
Permanente	più di 10 anni
Lunga durata	6 mesi -10 anni
Media durata	1 settimana – 6 mesi
Breve durata	meno di 1 settimana
Istantaneo	--

**Le classi di durata  
del carico**





Il coefficiente riduttivo per le resistenze  $k_{mod}$

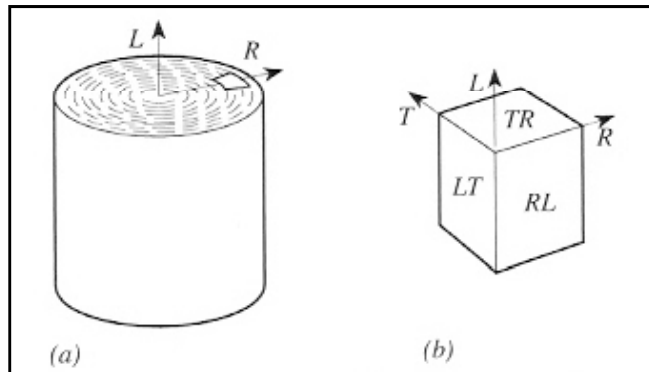
Materiale	Riferimento	Classe di servizio	Classe di durata del carico				
			Permanente	Lunga	Media	Breve	Istantanea
Legno massiccio							
Legno lamellare incollato	EN 14081-1 EN 14080	1	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
Microlamellare (LVL)	EN 14374, EN 14279	3	0,50	0.55	0.65	0.70	0.90
Compensato	EN 636 Parti 1, 2, 3	1	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
	Parti 2, 3	2	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
	Parte 3	3	0.50	0.55	0.65	0.70	0.90
Pannello di scaglie orientate (OSB)	EN 300 OSB/2	1	0.30	0.45	0.65	0.85	1.10
	OSB/3 OSB/4	1	0.40	0.50	0.70	0.90	1.10
	OSB/3 OSB/4	2	0.30	0.40	0.55	0.70	0.90
Pannello di particelle (truciolare)	EN 312 Parti 4, 5	1	0.30	0.45	0.65	0.85	1.10
	Parte 5	2	0.20	0.30	0.45	0.60	0.80
	Parti 6, 7	1	0.40	0.50	0.70	0.90	1.10
	Parte 7	2	0.30	0.40	0.55	0.70	0.90
Pannello di fibre, alta densità	EN 622-2 HB.LA, HB.HLA 1 o 2	1	0.30	0.45	0.65	0.85	1.10
	HB.HLA 1 o 2	2	0.20	0.30	0.45	0.60	0.80
Pannello di fibre, media densità (MDF)	EN 622-3 MBH.LA1 o 2	1	0.20	0.40	0.60	0.80	1.10
	MBH.HLS1 o 2	1	0.20	0.40	0.60	0.80	1.10
	MBH.HLS1 o 2	2	-	-	-	0.45	0.80
	EN 622-5 MDF.LA, MDF.HLS	1	0.20	0.40	0.60	0.80	1.10
	MDF.HLS	2	-	-	-	0.45	0.80

$$X_d = \frac{k_{mod} X_k}{\gamma_m}$$

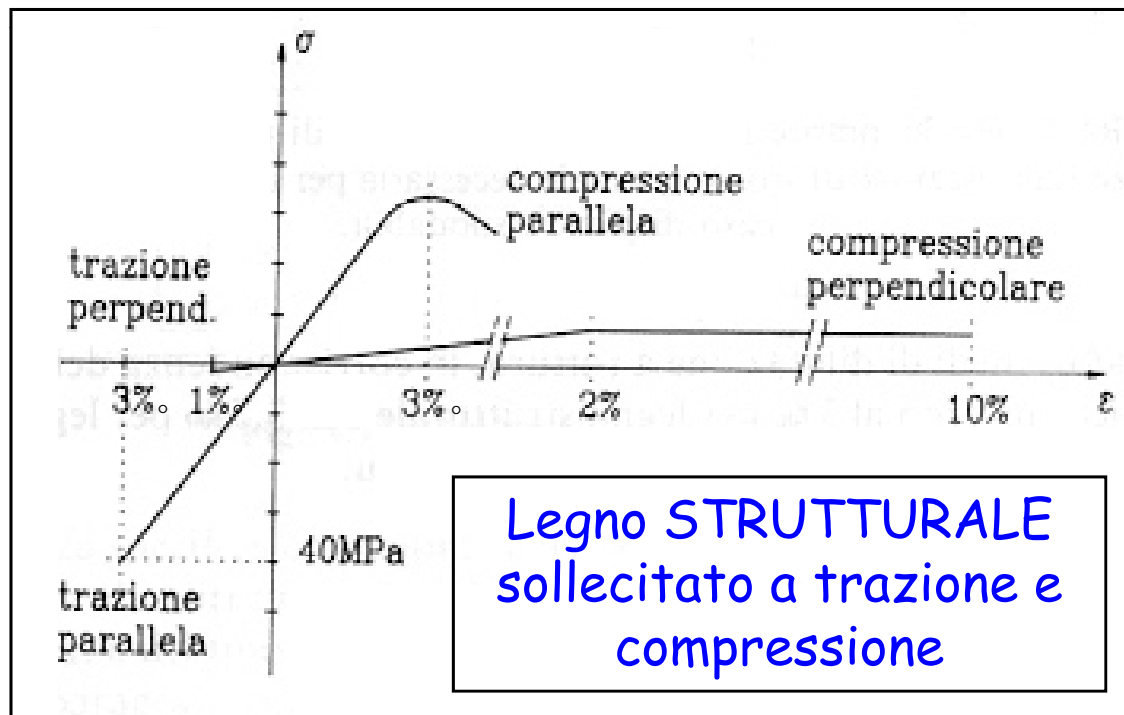




## Anisotropia del legno



Si considerano 2 direzioni di sollecitazione:  
-parallela alla fibratura (L)  
-ortogonale alla fibratura (R=T)



Le resistenze  
in direzione  
ortogonale alle fibre  
sono molto più basse  
(1/10÷1/50) di quelle  
in direzione  
parallela alle fibre







## Anisotropia del legno

- Le verifiche devono essere svolte separatamente per le tensioni agenti nelle due direzioni ortogonali principali
- Occorre tener conto dell'inclinazione delle tensioni rispetto alla direzione della fibratura.
- Le tensioni di trazione ortogonali alla fibre si devono evitare. In casi particolari, in cui non si possono evitare, esse vanno considerate con attenzione e mantenute a valori molto bassi (travi curve, a doppia rastremazione, fori, intagli agli appoggi).





## Comportamento praticamente elastico-lineare fino a rottura per il legno strutturale

- Le tensioni si calcolano con la teoria elastica lineare:

$$\sigma = N / A \quad \text{sforzo normale}$$

$$\sigma = M / W \quad \text{momento flettente}$$

$$\tau = T S / (I b) \quad \text{taglio}$$

- Le verifiche agli stati limite ultimi si possono svolgere in termini di tensioni invece che di caratteristiche della sollecitazione.





## Resistenze diverse a compressione, a trazione e a flessione

- Le verifiche per le diverse caratteristiche della sollecitazione (anche se determinano sempre tensioni normali) si devono svolgere con riferimento a valori diversi di resistenze di calcolo.
- Nel caso di stati tensionali combinati (sforzo normale e momento flettente) non si possono sommare le corrispondenti tensioni né far riferimento ad un unico valore di resistenza di calcolo.
- Il criterio di resistenza globale adottabile è quello dello sfruttamento relativo delle singole resistenze (formule di interazione lineari).





## I profili prestazionali

### Le classi di resistenza per il Legno Strutturale (EN 338)

		Pioppo e conifere											Latifoglie						
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Proprietà di resistenza (in N/mm <sup>2</sup> )																			
Flessione	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	30	35	40	50	60	70
Trazione parallela	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	18	21	24	30	36	42
Trazione perpendicolare	$f_{t,90,k}$	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compressione parallela	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	23	25	26	29	32	34
Compressione perpendicolare	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Taglio	$f_{vk}$	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
Proprietà di rigidità (in kN/mm <sup>2</sup> )																			
Modulo di elasticità medio parallela	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	10	10	11	14	17	20
Modulo di elasticità parallelo al 5%	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
Modulo di elasticità medio perpendicolare	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
Modulo di taglio medio	$G_{mean}$	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25
Massa volumica (in kg/m <sup>3</sup> )																			
Massa volumica	$\rho_k$	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	530	560	590	650	700	900
Massa volumica media	$\rho_{mean}$	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	640	670	700	780	840	1 080
Nota																			
a)	I valori forniti sopra per la resistenza a trazione, la resistenza a compressione, la resistenza a taglio, il modulo di elasticità al 5%, il modulo di elasticità medio perpendicolare alla fibratura e il modulo di taglio medio, sono calcolati utilizzando le equazioni fornite nell'appendice A.																		
b)	Le proprietà nel prospetto sono compatibili con un legno la cui umidità sia corrispondente ad una temperatura di 20 °C e un'umidità relativa del 65%.																		
c)	Il legno conforme alle classi C45 e C50 può non essere immediatamente disponibile.																		





## Influenza delle dimensioni della sezione sulla resistenza a flessione e a trazione

- I valori delle resistenze di calcolo a flessione e trazione sono determinati su provini di dimensioni standard (h=150 mm per il legno massiccio e h=600 mm per il legno lamellare). Per dimensioni minori è possibile incrementare la resistenza:

$$\text{legno massiccio} \quad k_h = \min. \left\{ \left( \frac{150}{h} \right)^{0,2} ; 1,3 \right\}$$

$$\text{legno lamellare} \quad k_h = \min. \left\{ \left( \frac{600}{h} \right)^{0,1} ; 1,1 \right\}$$

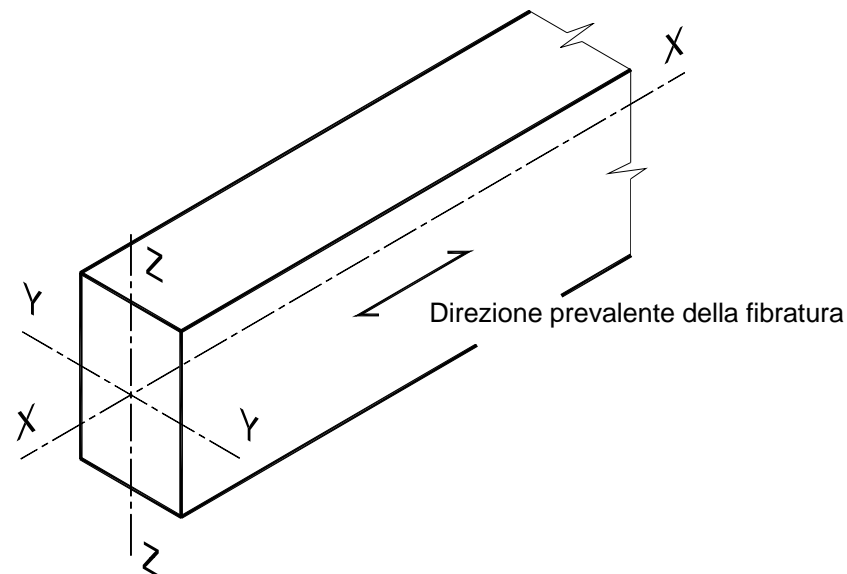
- La resistenza a flessione di calcolo può essere diversa nei due piani principali di flessione della trave.





## STATI LIMITE ULTIMI (6.5)

Elementi strutturali aventi la direzione della fibratura praticamente coincidente con il proprio asse longitudinale e sezione trasversale costante, soggetti a sforzi agenti prevalentemente lungo uno o più assi principali dell'elemento stesso.





## **STATI LIMITE ULTIMI (6.5)**

### **- Verifiche di resistenza (6.5.1)**

Riguardano la singola sezione trasversale e si riferiscono ai diversi stati di sollecitazione, semplici o composti.

### **- Verifiche di stabilità (6.5.2)**

Riguardano le sezioni trasversali in relazione però al comportamento dell'intero elemento strutturale.





## VERIFICHE DI RESISTENZA (6.5.1)

### - Trazione parallela alla fibratura (6.5.1.1)

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \Rightarrow \text{resistenza di calcolo a trazione}$$

tensione di calcolo ( $N_{t,d} / A_{netta}$ )

### - Trazione perpendicolare alla fibratura (6.5.1.2)

Per tale verifica si rimanda ai paragrafi relativi agli elementi strutturali particolari nei quali non è possibile evitare tensioni di trazione ortogonali alle fibre.

Occorre comunque tener conto del volume sollecitato effettivamente a trazione ( $k_{vol}$ ) (effetto volume).







## VERIFICHE DI RESISTENZA (6.5.1)

### - Compressione parallela alla fibratura (6.5.1.3)

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \Rightarrow \text{resistenza di calcolo a compressione}$$

$\sigma_{c,0,d}$  tensione di calcolo ( $N_{c,d} / A$ )

Occorre effettuare anche:

la verifica di instabilità per gli elementi compressi  
(6.5.2.2)





## VERIFICHE DI RESISTENZA (6.5.1)

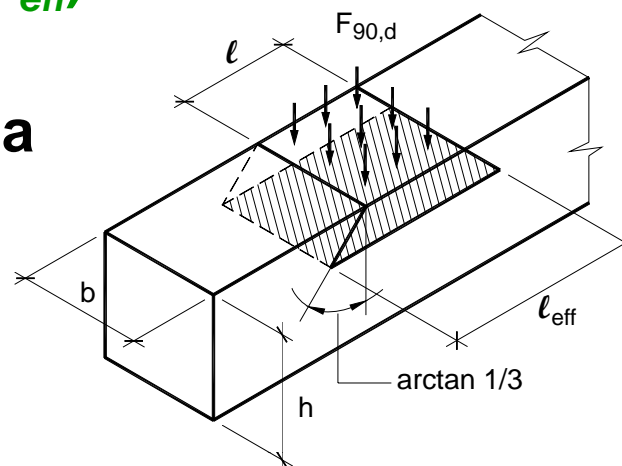
### -Compressione ortogonale alla fibratura (6.5.1.4)

Si ha agli appoggi delle travi e nelle zone di introduzione dei carichi.

$\sigma_{c,90,d} \leq f_{c,90,d} \Rightarrow$  resist. di calcolo a compr.ortogonale  
tensione di calcolo ( $F_{90,d} / b l_{eff}$ )

Definizione e limitazioni della  
lunghezza efficace:

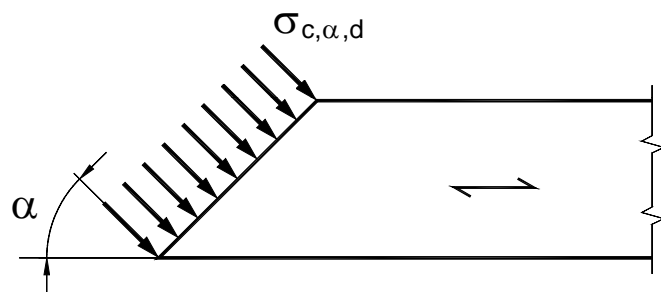
$$l_{eff} \leq 2l \quad l_{eff} \leq l + h/3$$





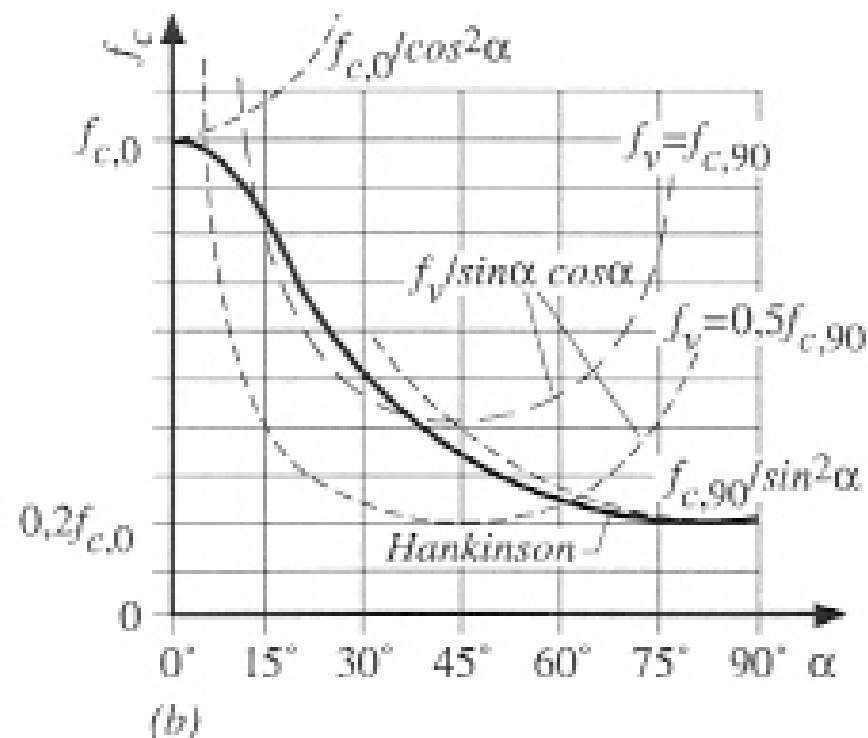
## VERIFICHE DI RESISTENZA (6.5.1)

### - Compressione inclinata rispetto alla fibratura (6.5.1.5)



$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

Si è adottato il criterio di Hankinson





## VERIFICHE DI RESISTENZA (6.5.1)

### - Flessione (semplice o deviata) (6.5.1.6)

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$\sigma_{m,d}$   $\Rightarrow$  tensione massima di flessione nel piano  $x,z$  o  $x,y$  ( $M_d/W$ )

$f_{m,d}$   $\Rightarrow$  resist. di calcolo a flessione nel piano  $x,z$  o  $x,y$

$k_m$   $\Rightarrow$  coefficiente di redistribuzione delle tensioni e disomogeneità del materiale (0,7 per sezioni rettangolari, 1,0 per le altre)

Occorre effettuare anche:

la verifica di stabilità allo svergolamento per gli elementi inflessi (6.5.2.1)





## VERIFICHE DI RESISTENZA (6.5.1)

### - Tensoflessione (6.5.1.7)

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$\sigma_{m,d} \Rightarrow$  tensione massima di flessione nel piano  $x,z$  o  $x,y$  ( $M_d/W$ )

$\sigma_{t,0,d} \Rightarrow$  tensione di trazione ( $N_{t,d} / A_{netta}$ )

Occorre effettuare anche:

la verifica di stabilità allo svergolamento per gli elementi inflessi (6.5.2.1)





## VERIFICHE DI RESISTENZA (6.5.1)

### - Pressoflessione (6.5.1.8)

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

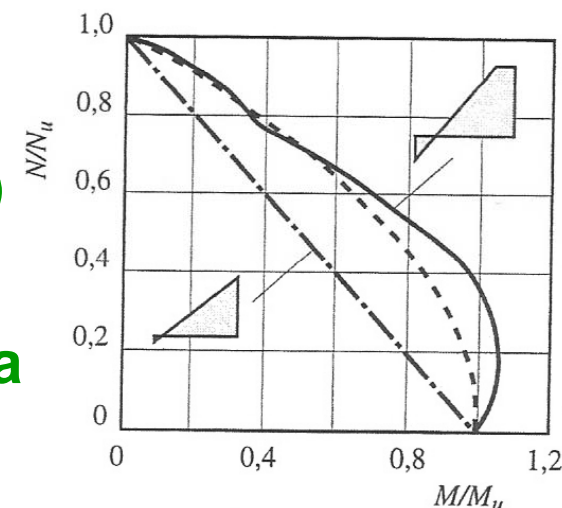
$\sigma_{m,d}$   $\Rightarrow$  tensione massima di flessione  
nel piano  $x,z$  o  $x,y$  ( $M_d/W$ )

$\sigma_{c,0,d}$   $\Rightarrow$  tensione di compressione ( $N_{c,d}/A$ )

l'esponente **2** tiene conto della  
plasticizzazione in zona compressa

Occorre effettuare anche:

le verifiche di instabilità per gli elementi compressi e inflessi  
(6.5.5.2)





## VERIFICHE DI RESISTENZA (6.5.1)

### - Taglio (6.5.1.9)

$\tau_d \leq f_{v,d}$   $\Rightarrow$  resistenza di calcolo a taglio

tensione massima da taglio ( $TS / (I b)$  - Jourawski)  
(non si considerano i carichi vicini agli appoggi ( $L = h$ ))

### - Torsione (6.5.1.10)

$\tau_{tor,d} \leq k_{sh} f_{v,d}$   $\Rightarrow$  resistenza di calcolo a torsione

tensione massima da torsione

$k_{sh}$   $\Rightarrow$  coefficiente di forma della sezione:

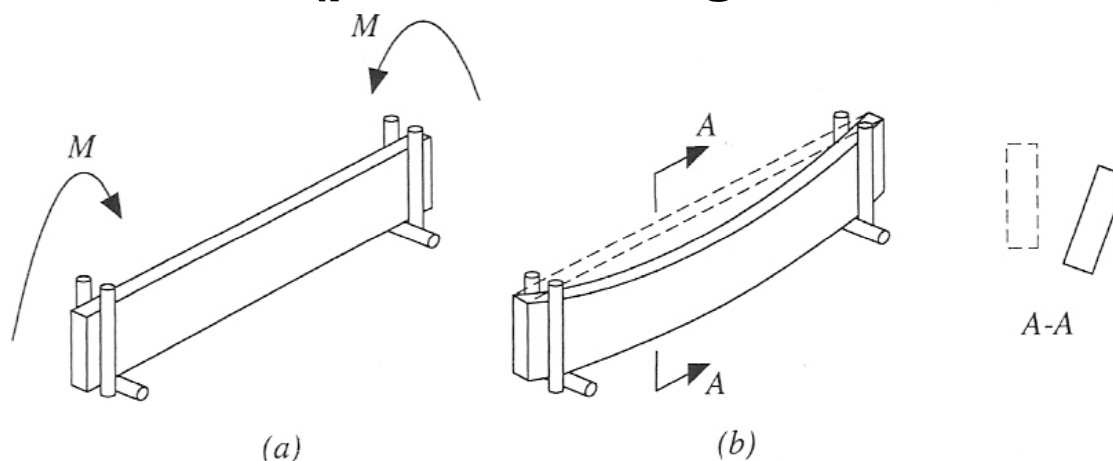
circolare piena	$\Rightarrow$	1,2
rettangolare piena	$\Rightarrow$	$1 + 0.5 h/b \leq 2$
altre sezioni	$\Rightarrow$	1



## VERIFICHE DI STABILITA' (6.5.2)

### -Elementi inflessi (Instabilità di trave) (6.5.2.1)

Riguarda l'instabilità flessio-torsionale o svergolamento delle travi inflesse (p.e. travi in legno lamellare alte)



$$M_{y,crit} = \frac{\pi}{l_{eff}} \sqrt{E_{0,05} I_z G_{0,05} I_{tor}}$$

➔ momento critico (teoria elastica)

↙ luce efficace delle trave (tipo di carico e vincoli)





## -Elementi inflessi (Instabilità di trave) (6.5.2.1)

Valori della lunghezza efficace  $l_{eff}$  (L = distanza tra due ritegni torsionali)

Condizioni di vincolo	Tipologia di carico o di sollecitazione	$l_{eff}$
Semplice appoggio	Momento flettente costante nel tratto L	1,0 L
	Carico uniformemente distribuito	0,9 L
	Forza concentrata in mezzeria	0,8 L
Incastro ad un estremo (mensola)	Carico uniformemente distribuito	0,5 L
	Forza concentrata all'estremo libero	0,8 L

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y}$$

← **tensione critica**

**snellezza relativa di trave** ⇒

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{m,k} / \sigma_{m,crit}}$$

$$k_{crit,m} = F(\lambda_{rel,m})$$

←

**coefficiente riduttivo di tensione critica per instabilità di trave**

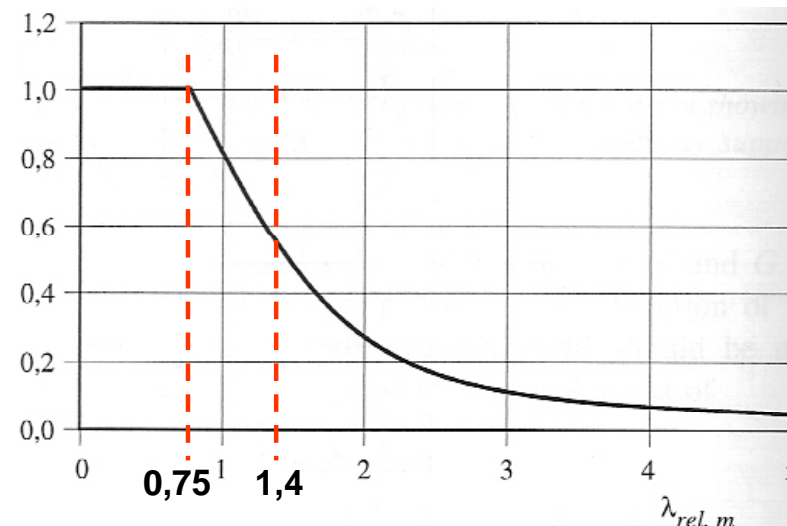




## -Elementi inflessi (Instabilità di trave) (6.5.2.1)

La curva di instabilità per le travi inflesse di legno

$$k_{crit,m} = \begin{cases} 1 & \text{per } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & \text{per } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ 1/\lambda_{rel,m}^2 & \text{per } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$



La verifica nel caso di flessione semplice ( $\lambda_{rel,m} > 0,75$ )

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit,m} f_{m,d} \implies \text{resistenza di calcolo a flessione}$$

tensione massima da flessione





## -Elementi inflessi (Instabilità di trave) (6.5.2.1)

### Il caso della flessione deviata ( $\lambda_{rel,m} > 0,75$ )

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,m} f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,m} f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

### Il caso delle aste tensoinflesse ( $\lambda_{rel,m} > 0,75$ )

$$\frac{\sigma_{t,o,d}}{f_{t,o,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,m} f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{t,o,d}}{f_{t,o,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,m} f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

### Il caso delle aste pressoinflesse ( $\lambda_{rel,m} > 0,75$ - senza instabilità di colonna)

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{f_{c,o,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,m} f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{f_{c,o,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,m} f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$





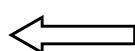
## VERIFICHE DI STABILITA' (6.5.2)

### -Elementi compressi (Instabilità di colonna) (6.5.2.2)

Riguarda l'instabilità degli elementi semplicemente compressi o pressoinflessi (p.e. pilastri in legno massiccio o lamellare).

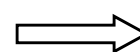
Si applica la teoria classica dell'instabilità delle aste compresse:

$$N_{crit} = \frac{\pi^2 E_{0,05} I}{l_0^2}$$



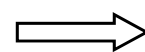
carico critico

tensione critica



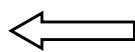
$$\sigma_{c,crit} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda^2}$$

snellezza relativa di colonna



$$\lambda_{rel,c} = \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}}$$

$$k_{crit,c} = F(\lambda_{rel,c})$$



coefficiente riduttivo di tensione  
critica per instabilità di trave





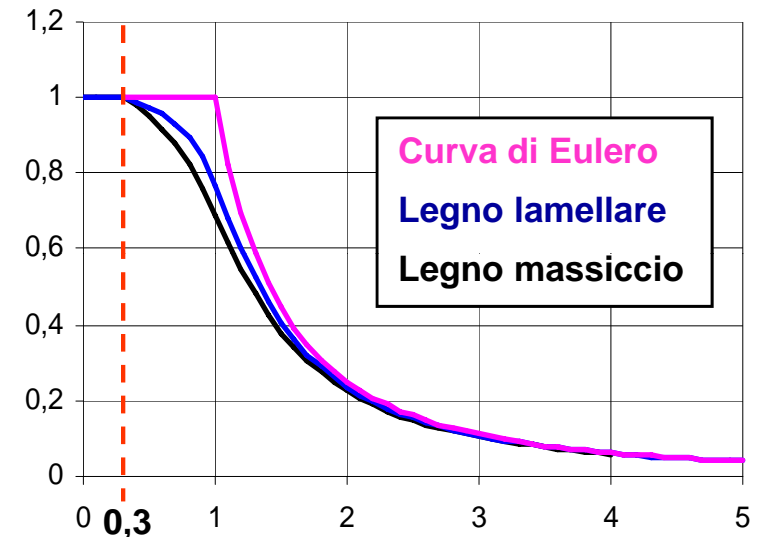
## -Elementi compressi (Instabilità di colonna) (6.5.2.2)

Le curve di instabilità per gli elementi compressi in legno

$$k_{crit,c} = 1 \quad \text{per } \lambda_{rel,c} \leq 0,3$$

$$k_{crit,c} = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}} \quad \text{per } \lambda_{rel,c} \geq 0,3$$

con:  $k = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2)$   
 $\beta_c = 0,2$  per legno massiccio  
 $\beta_c = 0,1$  per legno lamellare



La verifica nel caso di sforzo normale centrato ( $\lambda_{rel,c} \geq 0,30$ )

$$\sigma_{c,o,d} \leq k_{crit,c} f_{c,o,d}$$

resistenza di calcolo a compressione

tensione di compressione





## -Elementi compressi (Instabilità di colonna) (6.5.2.3)

La pressoflessione senza instabilità di trave ( $\lambda_{rel,c} > 0,3$  e  $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$ )

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{crit,c} f_{c,o,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{crit,c} f_{c,o,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

La pressoflessione con instabilità di trave ( $\lambda_{rel,c} > 0,3$  e  $\lambda_{rel,m} > 0,75$ )

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{crit,c} f_{c,o,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,m} f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{crit,c} f_{c,o,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,m} f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

La pressoflessione retta con instabilità di trave ( $\lambda_{rel,c} > 0,3$  e  $\lambda_{rel,m} > 0,75$ )

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{crit,c} f_{c,o,d}} + \left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,m} f_{m,y,d}} \right)^2 \leq 1$$





## ***TRAVI DI FORMA PARTICOLARE (8.1)***

### ***- Travi ad altezza variabile e curve (8.1.1)***

- Travi a semplice rastremazione (8.1.2)
- Travi a doppia rastremazione (8.1.3)
- Travi curve (8.1.4)

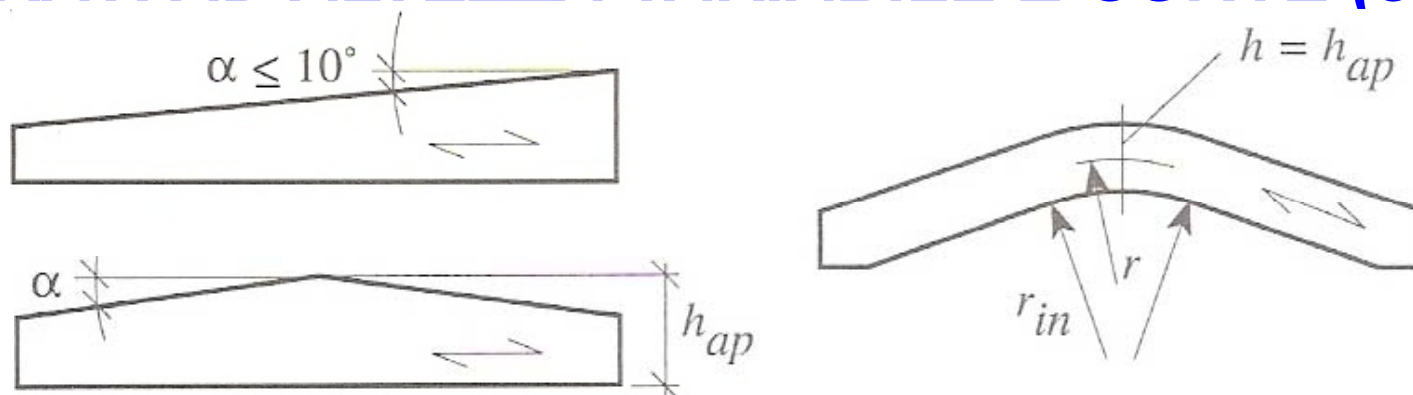
## ***TRAVI CON INTAGLI D'ESTREMITÀ (8.2)***

## ***TRAVI CON FORATURE D'ANIMA (8.3)***





## TRAVI AD ALTEZZA VARIABILE E CURVE (8.1.1)



Lo stato tensionale deve essere determinato tenendo conto della forma particolare dell'elemento (in genere travi in legno lamellare).

Occorre considerare la presenza contemporanea delle tensioni normali parallele alla fibratura, di quelle ortogonali alla fibratura (quando esistono) e delle tensioni tangenziali.

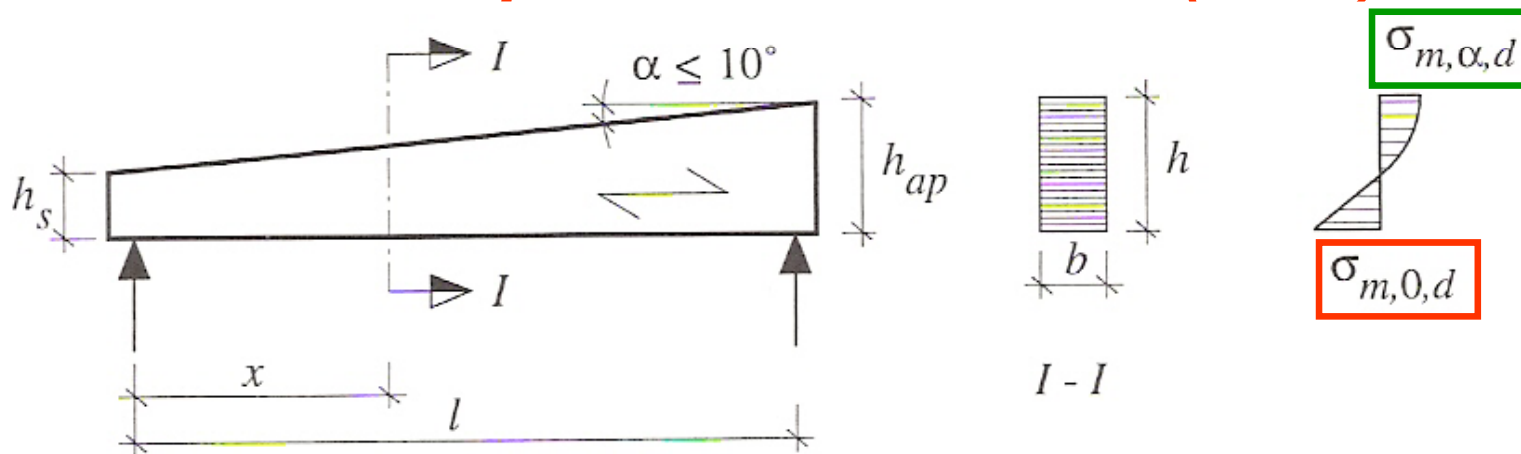
Per alcuni casi particolari si forniscono formulazioni semplificate, valide solo nel rispetto delle limitazioni di volta in volta indicate.







## - Travi a semplice rastremazione (8.1.2)



$$\sigma_{m,\alpha,d} = \left(1 - 4 \tan^2 \alpha\right) \frac{6M_d}{bh^2}$$

$$\sigma_{m,0,d} = \left(1 + 4 \tan^2 \alpha\right) \frac{6M_d}{bh^2}$$

le tensioni  
di calcolo

$$\sigma_{m,\alpha,d} \leq f_{m,\alpha,d}$$

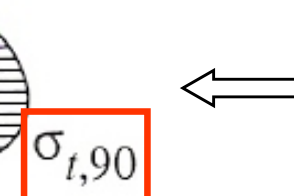
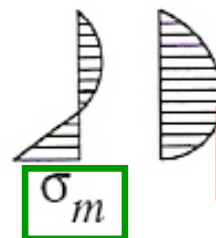
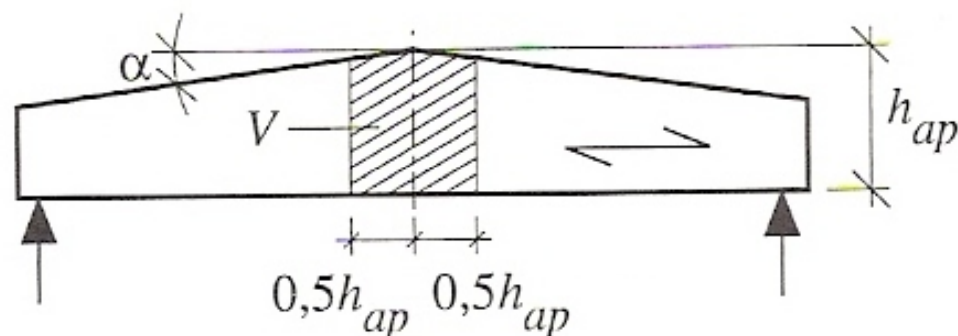
$$\sigma_{m,0,d} \leq f_{m,d}$$

le verifiche

$$f_{m,\alpha,d} = \frac{f_{m,d}}{\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

la resistenza di  
calcolo per  
tensioni inclinate  
rispetto alle fibre



**- Travi a doppia rastremazione (8.1.3)**

tensioni nella sez. di colmo

trazioni ortogonali

$$\sigma_{m,o,d} = k_l \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2}$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2}$$

le tensioni di calcolo

$$k_l = 1 + 1,4 \tan \alpha + 5,4 \tan^2 \alpha$$

$$k_p = 0,2 \tan \alpha$$

i coefficienti

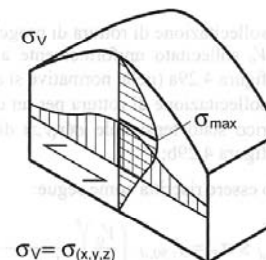
$$\sigma_{m,o,d} \leq f_{m,d}$$

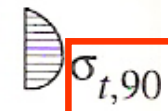
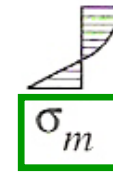
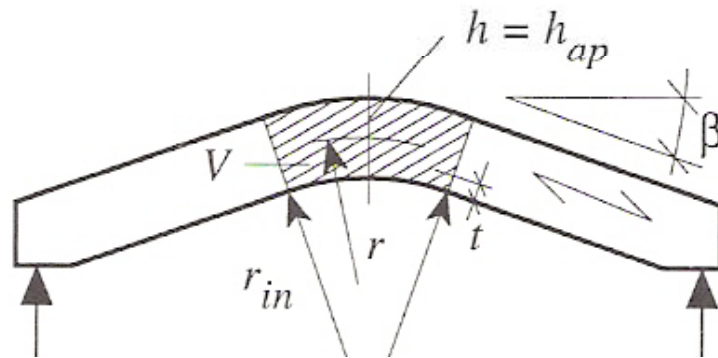
$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}$$

le verifiche

$$k_{vol} = (V_0 / V)^{0,2} \leq 1 \quad \Rightarrow \quad \text{coeff. di volume del colmo}$$

$$k_{dis} = 1,4 \quad \Rightarrow \quad \text{coeff. di distribuzione}$$



**- Travi curve (8.1.4)**

tensioni nel  
tratto curvo

trazioni ortogonali

$$\sigma_{m,o,d} = k_l \frac{6M_d}{bh^2}$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6M_d}{bh^2}$$

le tensioni  
di calcolo

$$k_l = 1 + 0,35 \left( \frac{h}{r} \right) + 0,6 \left( \frac{h}{r} \right)^2$$

$$k_p = 0,25 \left( \frac{h}{r} \right)$$

i coefficienti

$$\sigma_{m,o,d} \leq k_r f_{m,d}$$

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}$$

le verifiche

$$k_r = 0,76 + 0,001 (r_{in} / t)$$

⇒ curvatura delle lamelle (per  $r_{in} / t < 240$ )

$$k_{vol} = (V_0 / V)^{0,2} \leq 1$$

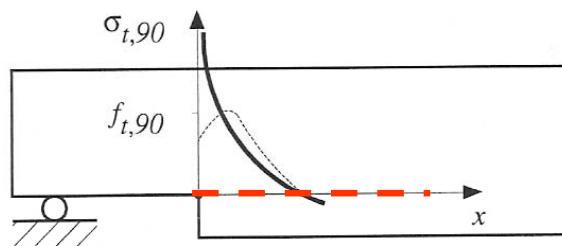
⇒ coeff. di volume (  $V$  = vol. zona curva)

$$k_{dis} = 1,4$$

⇒ coeff. di distribuzione

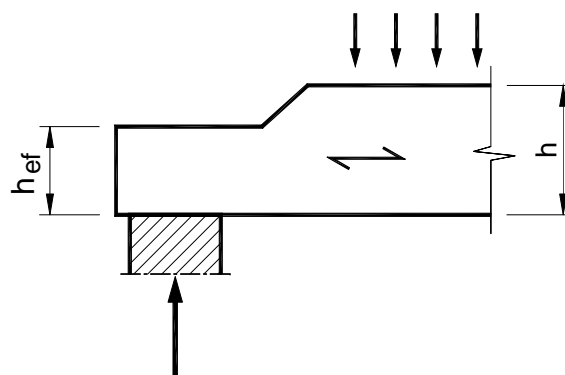
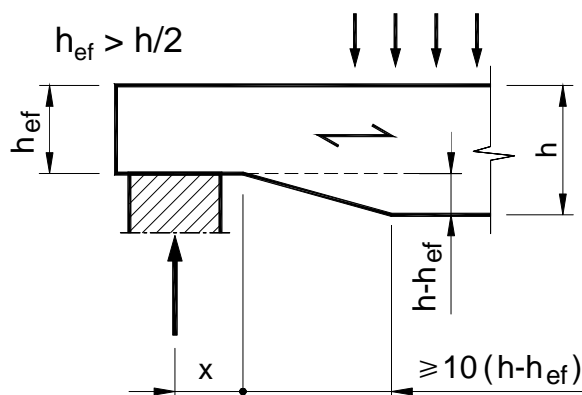


## TRAVI CON INTAGLI O RASTREMAZIONI D'ESTREMITÀ (8.2)



**nell'intaglio nascono  
tensioni di trazione  
ortogonali alla fibratura**

**- I casi previsti -**



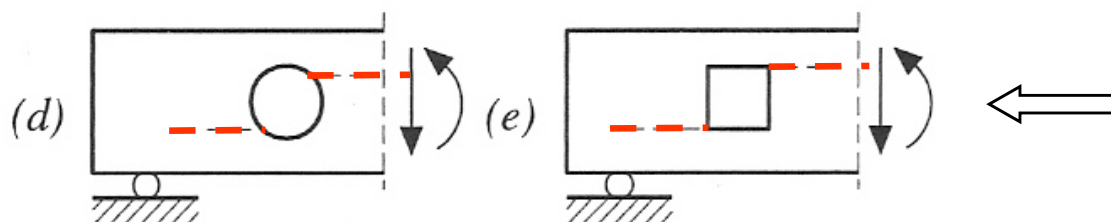
**la verifica a taglio**

$$\tau_d = \frac{1,5 \cdot V}{b \cdot h_{ef}} \leq f_{v,d}$$

**In assenza di adeguata rastremazione è obbligatorio  
prendere opportuni provvedimenti per contrastare  
l'apertura delle lesioni.**

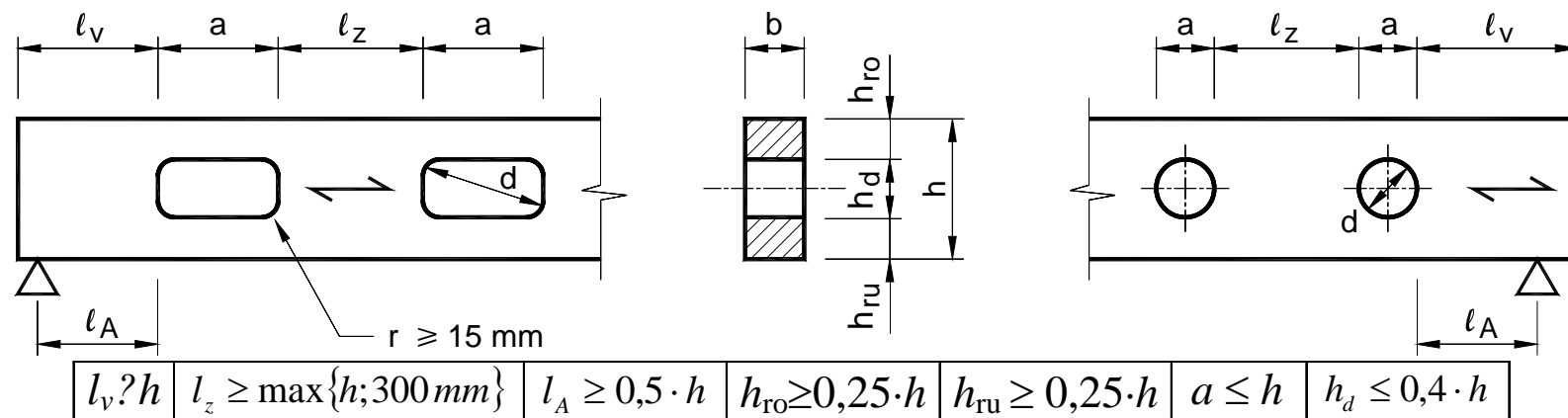


## TRAVI CON FORATURE D'ANIMA (8.3)

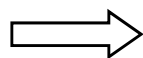


agli angoli dei fori nascono tensioni di trazione ortogonali alla fibratura

Per fori con  $d > 50$  mm, circolari o rettangolari con angoli arrotondati, sono fornite prescrizioni dimensionali e di verifica



la verifica per la trazione ortogonale



$$\frac{F_{t,90,d}}{0,5 \cdot l_{t,90} \cdot b \cdot f_{t,90,d}} \leq 1 \quad \text{dove:} \quad \begin{aligned} F_{t,90,d} &= f(M_d, V_d) \\ l_{t,90,d} &= f(h_d, h) \end{aligned}$$



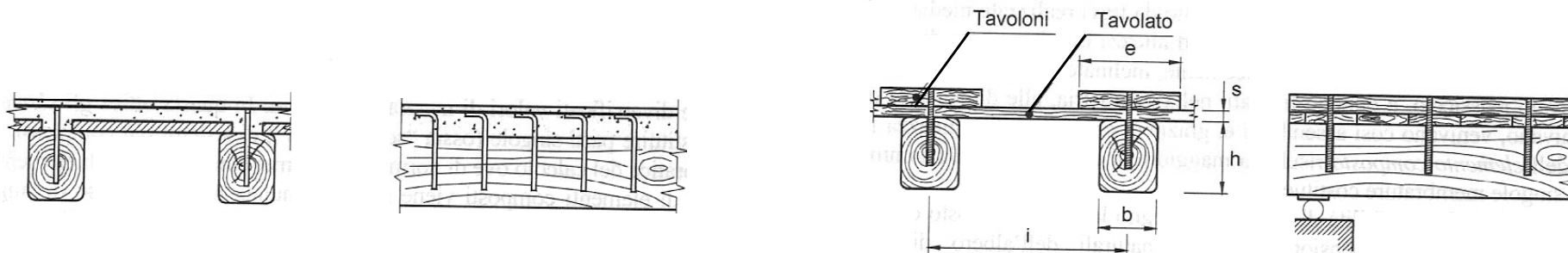


## ***ELEMENTI STRUTTURALI COMPOSTI (8.4)***

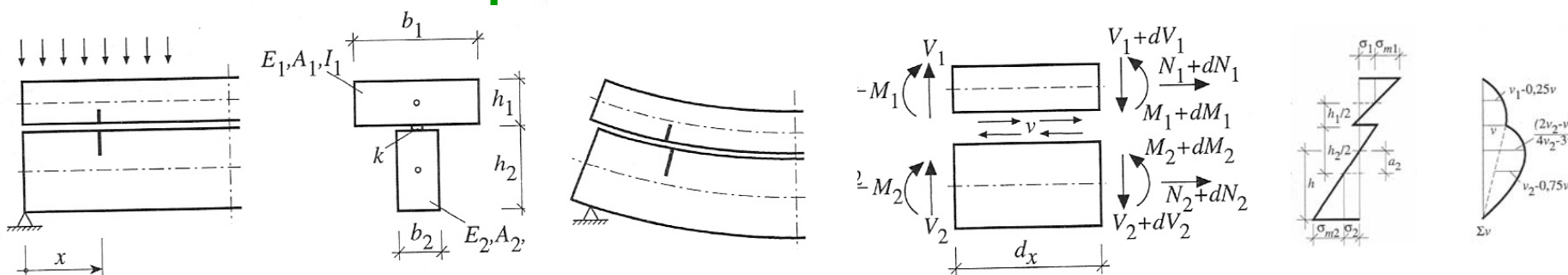
- ***Travi composte con connessioni meccaniche (8.4.1)***
- ***Travi incollate (8.4.2)***
  - **Travi incollate con anime sottili (8.4.2.1)**
  - **Travi incollate con ali sottili (8.4.2.2)**
- ***Colonne composte (8.4.3)***



## TRAVI COMPOSTE CON CONNESSIONI MECCANICHE (8.4.1)



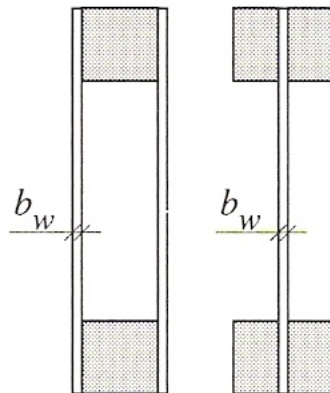
- Occorre tener conto dello scorrimento nelle unioni.
- Si applica la teoria classica delle travi composte per valutare le tensioni nelle varie parti della sezione e la deformazione della trave.



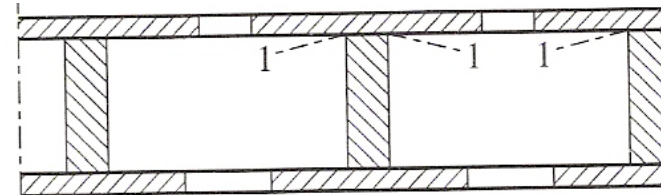
- Si utilizza il modulo di scorrimento ( $K_{ser} = f(\rho_k, d)$ ) relativo al tipo di connettore utilizzato.
- Si deve verificare la resistenza dei connettori.

## TRAVI INCOLLATE (8.4.2)

- **Ad anime sottili**



- **Ad ali sottili**



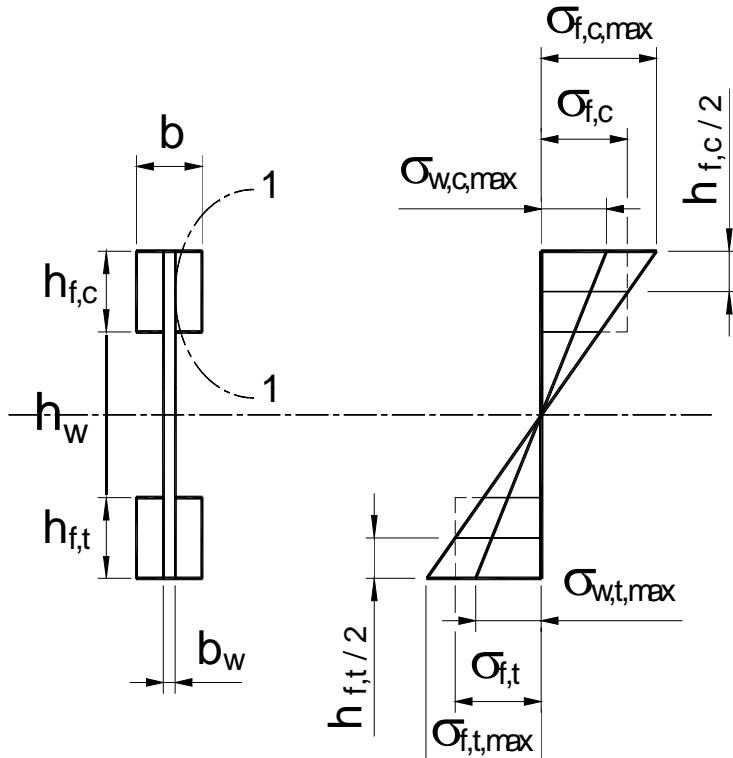
- L'incollaggio si considera unione rigida priva di scorrimento.
- Per l'elemento composto vale la conservazione delle sezioni piane e si possono omogeneizzare le varie parti della sezione in relazione ai rispettivi moduli elastici (medi).
- Tipologie diverse da quelle previste nel documento si possono usare solo dopo una attenta analisi sia tecnologica che statica.





## - Travi incollate con anime sottili (8.4.2.1)

### - Le verifiche per le tensioni normali -



$$\sigma_{f,c,max} \leq f_{m,d}$$
$$\sigma_{w,c,max} \leq f_{m,d}$$

← **compressione max  
nelle ali e nell'anima**

$$\sigma_{f,t,max} \leq f_{m,d}$$
$$\sigma_{w,f,max} \leq f_{m,d}$$

← **trazione massima  
nelle ali e nell'anima**

$$\sigma_{m,f} \leq f_{t,o,d}$$
$$\sigma_{m,c} \leq k_{crit,c} f_{c,o,d}$$

← **trazione e compres-  
sione media nelle ali**

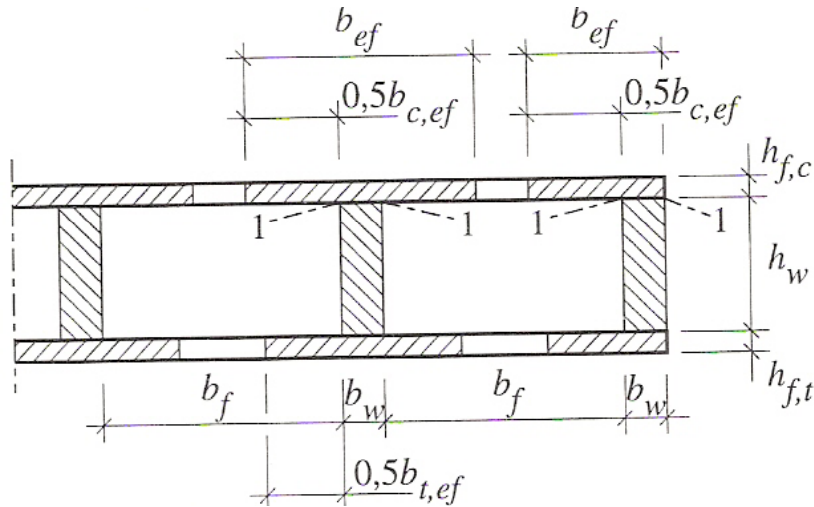
- Sono richieste anche verifiche specifiche a taglio dell'anima che tengono conto della sua snellezza.

- Massima snellezza dell'anima  $(h_w / b_w) = 70$



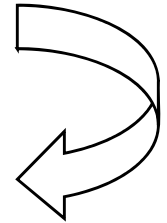


## - Travi incollate con ali sottili (8.4.2.2)



distribuzione non uniforme  
delle tensioni nelle ali

larghezza efficace dell'ala



$$b_{eff} = (b_w + b_{c,eff}) < i/2$$

larghezza di ala collaborante

$$b_{c,eff} = \min(\alpha l; \beta h_f)$$

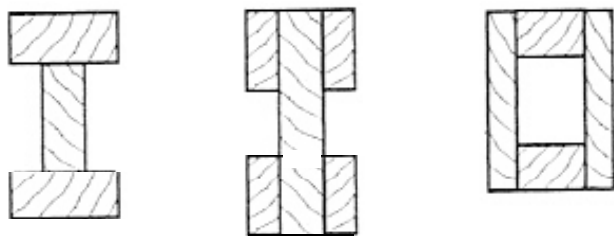
Materiale dell'ala	$\alpha$	$\beta$
Pannelli di compensato con la fibratura dello strato esterno parallela all'anima ortogonale all'anima	0,1	20
	0,1	25
Pannelli di fibre orientate	0,15	25
Pannelli di particelle o di fibre non orientate	0,2	30

l = luce della  
trave

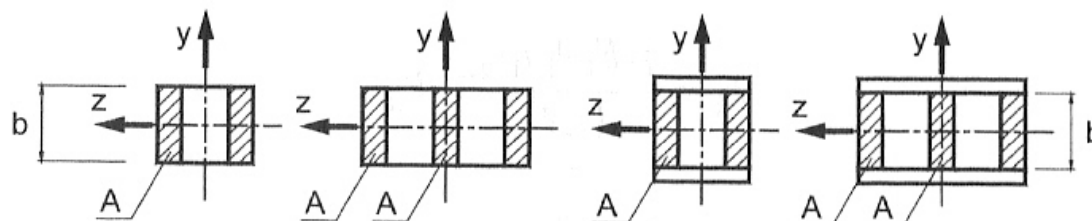


## COLONNE COMPOSTE (8.4.3)

- **Elementi non divaricati**  
 (con connessioni continue)



- **Elementi divaricati**  
 (con connessioni discontinue:  
 imbottiture, calastrelli, aste ret.)



- **Incollati**: elemento unico con sezione omogeneizzata.
- Con **connessioni meccaniche**: da considerare lo scorrimento nelle unioni.

- **Numero minimo di collegamenti** ( $d_{\max} = L/3$ ).
- Da considerare la **deformabilità degli elementi di collegamento**.
- **Flessioni solo nel piano y**

- Verifica degli elementi di collegamento con **forze di taglio fittizie**, proporzionali allo sforzo normale agente.



**GRAZIE PER LA VOSTRA  
ATTENZIONE**

